بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده‌ی فنی و مهندسی
بخش مهندسی برق
پایان‌نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق
گرایش قدرت

بهره‌برداری توأمان انرژی و رزرو چرخان با در نظر گرفتن عوامل ریسک در شبکه هوشمند

مؤلف:
سید محمود مهدوی

استاد راهنما:
دکتر مسعود رشیدی نژاد

استاد مشاور:
دکتر امیر عبدالهی

دی‌ماه ۱۳۹۲

این پایان‌نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی برق

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ‌گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی‌شود.

دانشجو: **سید محمود مهدوی**

استاد راهنما: دکتر **مسعود رشیدی نژاد**

استاد مشاور: دکتر **امیر عبدالهی**

استاد داور ۱: دکتر **سعید اسماعیلی**

استاد داور ۲: دکتر **روح‌الامین زینلی**

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده در جلسه دفاع: دکتر **حسین هژبری**

معاون آموزشی و پژوهشی دانشکده: دکتر **مریم احتشام زاده**

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان

تقدیم به پدر و مادر بزرگوارم

به رسم ادب و حق‌شناسی صمیمانه از استاد گران‌قدرم دکتر مسعود رشیدی نژاد که هدایت این‌جانب را در این پایان‌نامه تقبل فرمودند و با راهنمایی‌هایشان در به ثمر رسیدن پروژه مرا یاری نمودند، قدردانی می‌کنم.

در پایان مراتب سپاس خود را از همه اساتیدی که در دوره کارشناسی ارشد از محضرشان استفاده نموده‌ام اعلام می‌دارم.

چکیده

مدل‌سازی و ارزیابی ریسک، از چالش‌های اساسی بهره‌برداری و برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت محسوب می‌شود. از مهم‌ترین مسائل اقتصادی مربوط به بازارهای برق، بررسی و تعیین قابلیت اطمینان شبکه با توجه به شاخص‌های چون سطح رزرو است. با رخداد تجدید ساختار در صنعت برق، ریسک و قابلیت اطمینان، تبدیل به مفاهیمی بااهمیت روزافزون شده‌اند؛ بطوریکه محیط رقابتی جدید، شرکت های برق را بر آن وا می‌دارد که سیستم‌های خود را تقریباً با تمام ظرفیت بهره‌برداری کنند که این شرایط بهره‌برداری، با کاهش رزرو سیستم، منجر به کاهش قابلیت اطمینان سیستم خواهد شد. در این میان، از جمله راهکارهای موثر در ارتقا سطح قابلیت اطمینان، و لذا مدیریت بهتر سیستم‌های قدرت، شبکه‌های هوشمند می‌باشند که امکان پایش کامل و کنترل لحظه به لحظه تجهیزات را برای شرکت‌های برق فراهم می‌کند. تا کنون دو روش برای تعیین رزرو ارایه شده است.

روش اول به روش «هزینه/منفعت» موسوم است، و روش دوم، «سلامت عمومی» نامیده می‌شود. در پایان‌نامه پیش‌رو، با توجه به ساختار تجدیدیافته صنعت برق، انرژی باد، و شبکه‌های هوشمند در قالب مدیریت سمت تقاضا، به معرفی ساختاری جدید برای تسویه همزمان بازارهای انرژی و رزرو، با توجه به شاخص‌های قابلیت اطمینان پرداخته می‌شود. در این راستا، علاوه بر روش‌های مزبور، روش دیگری تحت عنوان «ارزش در معرض خطر» برای تعیین رزرو سیستم ارائه می‌گردد که از پرکاربردترین روش های تعیین ریسک دراقتصاد بشمار می‌رود. کارایی فرمول‌بندی ارائه‌شده در ارتقا قابلیت اطمینان با بهره‌گیری از شبکه IEEE-RTS مورد ارزیابی قرار می‌گیرد؛ ضمن آنکه نتایج بدست‌آمده از انجام این مطالعات کارآمدی مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد.

کلید واژه : بهره‌برداری توأمان، رزرو چرخان ، شبکه هوشمند، قابلیت اطمینان، عوامل ریسک.

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ قابلیت اطمینان در سیستم‌های قدرت ۴

۱-۲-۱ ارزیابی کفایت سیستم و ارزیابی امنیت سیستم ۵

۱-۲-۲ طبقه‌بندی ارزیابی قابلیت اطمینان ۵

۱-۳ بهره‌برداری سیستم‌های قدرت ۶

۱-۴ ذخیره مورد نیاز در سیستم ۷

۱-۵ رویکرد پایان‌نامه ۹

فصل دوم ادبیات مسئله و پیشینه‌ی تحقیق ۱۱

۲-۱ مقدمه ۱۲

۲-۲ مروری بر مطالعات و تحقیقات انجام‌شده ۱۲

۲-۳ اپراتور مستقل سیستم (ISO) ۱۶

۲-۳-۱ وظائف و مسئولیت‌های ISO ۱۶

۲-۴ برنامه‌ریزی سیستم قدرت ۱۷

۲-۵ سرویس‌های جانبی ۱۹

۲-۶ رزرو چرخان ۲۱

۲-۶-۱ تعیین بهینه‌ی رزرو مورد نیاز سیستم ۲۱

۲-۶-۲ قیمت‌گذاری رزرو چرخان ۲۱

۲-۶-۳ توزیع بهینه‌ی رزرو چرخان ۲۲

۲-۷ برنامه‌ریزی مشارکت واحدهای تولیدی در شبکه‌های هوشمند الکتریکی ۲۴
۲-۷-۱ بررسی اثر برنامه پاسخگویی بار در قابلیت اطمینان ۲۵
۲-۷-۲ بررسی اثر عدم قطعیت انرژی بادی در قابلیت اطمینان ۲۵
۲-۸ جمع‌بندی ۲۷
فصل سوم برنامه‌ریزی تدارک همزمان انرژی و رزرو با توجه به قابلیت اطمینان سیستم ۲۹
۳-۱ مقدمه ۳۰
۳-۲ زمان‌بندی بهینه‌ی واحدها با استفاده از روش توزیع ترتیبی اصلاح‌شده ۳۰
۳-۳ تابع هدف ۳۰
۳-۳-۱ مدل اقتصادی هزینه‌ها ۳۱
۳-۳-۲ محدودیت تعادل عرضه و تقاضا ۳۱
۳-۳-۳ محدودیت‌های فیزیکی ۳۱
۳-۳-۴ محدودیت رزرو چرخان ۳۲
۳-۴ روش‌های انجام UC ۳۳
۳-۴-۱ توزیع اقتصادی بار ۳۳
۳-۴-۲ روش حق تقدم ۳۳
۳-۴-۳ الگوریتم ژنتیک ۳۴
۳-۵ جمع‌بندی ۳۶
فصل چهارم روش‌های ارزیابی ریسک برای تعیین رزرو در سیستم‌های قدرت ۳۷
۴-۱ مقدمه ۳۸
۴-۲ بررسی کاربرد روش هزینه/منفعت برای محاسبه رزرو مورد نیاز ۳۸
۴-۲-۱ مدل‌سازی روش هزینه/منفعت ۳۸
۴-۲-۲ محاسبه EENS ۳۹

۴-۲-۳ الگوریتم تعیین ظرفیت رزرو با روش هزینه/منفعت ۴۲
۴-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی روش هزینه/منفعت در UC برای شبکه ۳ واحد ۴۴
۴-۳ بررسی کاربرد روش سلامت عمومی برای محاسبه رزرو مورد نیاز ۴۸
۴-۳-۱ الگوریتم روش پیشنهادی ۵۰
۴-۳-۲ نتایج شبیه‌سازی روش سلامت عمومی در UC برای شبکه سه واحد ۵۲
۴-۴ بررسی روش ارزش در معرض خطر برای رزرو مورد نیاز ۵۵
۴-۴-۱ تعریف روش ارزش در معرض خطر ۵۵
۴-۴-۲ شبیه‌سازی روش ارزش در معرض خطر در بهره‌برداری سیستم ۵۶
۴-۴-۳ نتایج شبیه‌سازی روش VaR در UC برای شبکه ۳ واحد ۶۰
۴-۵ جمع‌بندی ۶۲
فصل پنجم بررسی روش‌های ارزیابی ریسک در شبکه‌های هوشمند الکتریکی ۶۴
۵-۱ مقدمه ۶۵
۵-۲ مدل‌سازی اثر برنامه‌های پاسخگویی بار بر برنامه‌ریزی مشارکت واحدهای تولیدی ۶۵
۵-۲-۱ مفهوم مدیریت سمت مصرف ۶۶
۵-۲-۲ برنامه‌های پاسخ‌گویی بار اضطراری (EDRP) ۶۹
۵-۲-۳ مدل اقتصادی پاسخگویی بار ۷۰
۵-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی اثر برنامه پاسخگویی بار بر قابلیت اطمینان ۷۲
۵-۳ مدل‌سازی مزرعه‌های بادی به منظور مشارکت در برنامه‌ریزی مشارکت واحدهای تولیدی ۸۳
۵-۳-۱ ارزیابی عدم قطعیت در منبع انرژی اولیه ۸۴
۵-۳-۲ روش تخمین دو نقطه ۸۵
۵-۴ جمع‌بندی ۸۸
فصل ششم پیاده‌سازی شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل مطالعات عددی ۸۹

۶-۱ مقدمه ۹۰
۶-۲ بررسی اثر عدم قطعیت مزرعه بادی در برنامه‌ریزی مشارکت واحدهای تولیدی با در نظر گرفتن محدودیت قابلیت اطمینان ۹۰
۶-۲-۱ بررسی ارزش بار از دست داده بر تأمین رزرو با حضور مزرعه بادی ۹۰
۶-۲-۲ تجزیه و تحلیل نتایج ۹۶
۶-۳ بررسی اثر برنامه پاسخگویی بار بر برنامه‌ریزی مشارکت واحدهای تولیدی با توجه به محدودیت قابلیت اطمینان ۹۶
۶-۳-۱ بررسی اثر ارزش بار از دست داده در تعیین رزرو چرخان مورد نیاز ۹۶
۶-۳-۲ بررسی اثر الستیسیته بر برنامه پاسخگویی ۱۰۰
۶-۳-۳ بررسی اثر قیمت رزرو بر برنامه پاسخگویی ۱۰۰
۶-۳-۴ تجزیه و تحلیل نتایج ۱۰۱
۶-۴ برنامه‌ریزی همزمان مشارکت واحدهای تولیدی در تأمین انرژی و رزرو چرخان با روش سلامت عمومی با حضور برنامه پاسخگویی بار ۱۰۱
۶-۴-۲ بررسی اثر برنامه پاسخگویی بار بر سلامت عمومی ۱۰۳
۶-۴-۴ تجزیه و تحلیل نتایج ۱۰۵
۶-۵ برنامه‌ریزی همزمان مشارکت واحدهای تولیدی در تأمین انرژی و رزرو چرخان با روش ارزش در معرض خطر ۱۰۵
۶-۵-۱ بررسی اثر α بر قابلیت اطمینان ۱۰۵
۶-۵-۲ بررسی اثر افزایش α بر مشارکت واحدها ۱۰۶
۶-۵-۳ برنامه‌ریزی برای ۲۴ ساعت ۱۰۹
۶-۶ جمع‌بندی ۱۱۲
فصل هفتم نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها ۱۱۳

۷-۱ نتیجه‌گیری ۱۱۴
۷-۲ پیشنهاد برای تحقیقات آتی ۱۰۶
مراجع و مأخذ ۱۱۸

فهرست اشکال

شکل ۱- ۱ زمینه‌های ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم ۴
شکل ۱- ۲ سطوح مرتبه‌ای در ارزیابی قابلیت اطمینان ۶

شکل ۲- ۱ شماتیک کلی ظرفیت تولید یک واحد ۲۴

شکل ۳- ۱ مدل باینری برنامه‌ریزی مشارکت واحدها واحدها..... ۳۵

شکل ۴- ۱ منحنی هزینه /منفعت در سیستم قدرت..... ۴۳
شکل ۴- ۲ ساختار روش هزینه/منفعت به منظور تعیین رزرو چرخان مورد نیاز..... ۴۴
شکل ۴- ۳ حالت‌های بهره‌برداری در روش سلامت عمومی ۴۹
شکل ۴- ۴ فلوچارت ساختار روش تعیین رزرو چرخان با روش سلامت عمومی ۵۱
شکل ۴- ۵ ارزش در معرض خطر برای α برابر ۹۵٪..... ۵۵
شکل ۴- ۶ فلوچارت ساختار روش پیشنهادی برای محاسبه رزرو چرخان مورد نیاز با روش VaR .. ۵۹

شکل ۵ - ۱ کلاسه بندی برنامه‌های پاسخگویی بار ۶۹
شکل ۵ - ۲ فلوچارت اثر برنامه پاسخگویی بار بر روش هزینه/منفعت برای تعیین رزرو..... ۷۴
شکل ۵ - ۳ منحنی درجه دوم خروجی توان توربین..... ۸۳
شکل ۵ - ۴ فلوچارت الگوریتم پیشنهادی برنامه‌ریزی واحدهای تولیدی ۸۹
شکل ۵ - ۵ ساختار روش تخمین دو نقطه‌ای ۸۹

شکل ۶- ۱ اثر تغییرات بار بر حالت‌های بهره‌برداری در سناریو یک با روش سلامت عمومی ۱۰۳
شکل ۶- ۲ اثر تغییرات بار بر حالت‌های بهره‌برداری در سناریو دو با روش سلامت عمومی ۱۰۴
شکل ۶- ۳ اثر تغییرات بار بر حالت‌های بهره‌برداری در سناریو سه با روش سلامت عمومی ۱۰۴
شکل ۶- ۴ احتمال از دست دادن بار با و بدون رزرو ۱۰۶
شکل ۶- ۵ اثر افزایش اندازه α بر LOL-VaR..... ۱۰۷
شکل ۶- ۶ اثر افزایش اندازه α بر EENS ۱۰۷
شکل ۶- ۷ اثر افزایش اندازه α بر مجموع هزینه‌ها ۱۰۸

شکل ۶- ۸ منحنی مصرف بار در ۲۴ ساعت ۱۰۹
شکل ۶- ۹ LOL-VaR محاسبه‌شده برای سه سناریو در ۲۴ ساعت..... ۱۱۰
شکل ۶- ۱۰ EENS محاسبه‌شده برای سه سناریو در ۲۴ ساعت ۱۱۰
شکل ۶- ۱۱، مجموع هزینه بهره‌برداری برای سه سناریو در ۲۴ ساعت..... ۱۱۰

فهرست جداول

جدول ۲- ۱ طبقه‌بندی بازه‌های زمانی بهره‌برداری سیستم ۱۸
جدول ۲- ۲ انواع سر ویس‌های جانبی ۲۰
جدول ۴ - ۱ اطلاعات واحدهای تولیدی ۴۵
جدول ۴ - ۲ پیشامدها و احتمال وقوع آن‌ها ۴۵
جدول ۴ - ۳ پخش بار اقتصادی بین سه واحد تولیدی برای بار ۲۵ مگاوات ۴۵
جدول ۴ - ۴ احتمال بار از ست داده در هر پیشامد ۴۵
جدول ۴ - ۵ نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی ۴۷
جدول ۴ - ۶ برنامه‌ریزی مشارکت واحدهای تولیدی برای VOLL = ۳ $/MW ۴۷
جدول ۴ - ۷ برنامه‌ریزی مشارکت واحدهای تولیدی برای VOLL = ۵ $/MW ۴۸
جدول ۴ - ۸ برنامه‌ریزی مشارکت واحدهای تولیدی برای VOLL = ۱۰ $/MW ۴۸
جدول ۴ - ۹ پخش بار اقتصادی بین سه واحد تولیدی برای بار ۲۵ مگاوات ۵۲
جدول ۴ - ۱۰ روش سلامت عمومی برای سناریو یک ۵۲
جدول ۴ - ۱۱ روش سلامت عمومی برای سناریو دوم ۵۳
جدول ۴ - ۱۲ روش سلامت عمومی برای سناریو سوم ۵۳
جدول ۴ - ۱۳ روش سلامت عمومی برای سناریو چهارم ۵۴
جدول ۴ - ۱۴ روش سلامت عمومی برای سناریو پنجم ۵۴
جدول ۴ - ۱۵ اطلاعات واحدهای تولیدی ۶۰
جدول ۴ - ۱۶ خلاصه نتایج خروج احتمالی نیروگاه‌ها ۶۰
جدول ۴ - ۱۷ برنامه‌ریزی بهره‌برداری نیروگاه‌ها ۶۰
جدول ۴ - ۱۸ احتمال هر پیش آمد با فرض بار مصرفی ۲۵ مگاوات ۶۱
جدول ۴ - ۱۹ نتایج به دست آمده از برنامه‌ریزی بهره‌برداری تولید و رزرو بر اساس روش VaR ... ۶۲

جدول ۴ – ۲۰ ویژگی‌های روش‌های ارائه‌شده برای تعیین رزرو چرخان ۶۲
جدول ۵ – ۱ احتمال از دست دادن بار برای سناریو اول ۷۵
جدول ۵ – ۲ نتایج پخش بار برای سناریو اول ۷۵
جدول ۵ – ۳ هزینه رزرو و هزینه وقفه در تأمین انرژی برای سناریو اول ۷۵
جدول ۵ – ۴ نتایج به دست آمده از برنامه‌ریزی واحدها برای سناریو اول ۷۵
جدول ۵ – ۵ احتمال از دست دادن بار برای سناریو دوم ۷۶
جدول ۵ – ۶ نتایج پخش بار برای سناریو دوم ۷۶
جدول ۵ – ۷ هزینه رزرو و هزینه وقفه در تأمین انرژی برای سناریو دوم ۷۶
جدول ۵ – ۸ نتایج به دست آمده از برنامه‌ریزی واحدها برای سناریو دوم ۷۶
جدول ۵ – ۹ احتمال از دست دادن بار برای سناریو سوم ۷۷
جدول ۵ – ۱۰ نتایج پخش بار برای سناریو سوم ۷۷
جدول ۵ – ۱۱ هزینه رزرو و هزینه وقفه در تأمین انرژی برای سناریو سوم ۷۷
جدول ۵ – ۱۲ نتایج به دست آمده از برنامه‌ریزی واحدها برای سناریو سوم ۷۷
جدول ۵ – ۱۳ نتایج به دست آمده از سه سناریو با روش هزینه/منفعت ۷۸
جدول ۵ – ۱۴ پخش بار اقتصادی بین واحدهای تولیدی بدون برنامه پاسخگویی ۷۸
جدول ۵ – ۱۵ روش سلامت عمومی بدون برنامه پاسخگویی ۷۸
جدول ۵ – ۱۶ پخش بار اقتصادی بین واحدهای تولیدی در سناریو اول ۷۹
جدول ۵ – ۱۷ بررسی روش سلامت عمومی در سناریو اول ۷۹
جدول ۵ – ۱۸ پخش بار اقتصادی بین واحدهای تولیدی در سناریو دوم ۷۹
جدول ۵ – ۱۹ بررسی روش سلامت عمومی در سناریو دوم ۸۰
جدول ۵ – ۲۰ پخش بار اقتصادی بین واحدهای تولیدی در سناریو سوم ۸۰
جدول ۵ – ۲۱ بررسی روش سلامت عمومی در سناریو سوم ۸۰

جدول ۵ – ۲۲ نتایج به دست آمده از روش سلامت عمومی برای سه سناریو ۸۱
جدول ۵ – ۲۳ نتایج برنام‌هریزی تولید برای پاداش ۰/۵ دلار به ازای هر مگاوات ۸۱
جدول ۵ – ۲۴ نتایج برنامه‌ریزی تولید برای پاداش ۱ دلار به ازای هر مگاوات ۸۲
جدول ۵ – ۲۵ نتایج برنامه‌ریزی تولید برای پاداش ۱/۵ دلار به ازای هر مگاوات..... ۸۲
جدول ۵ – ۲۶ نتایج به دست آمده از روش VaR برای سه سناریو ۸۲
جدول ۶ – ۱ برنامه‌ریزی مشارکت نیروگاه‌ها در تأمین همزمان انرژی و رزرو برای VOLL = 3000 دلار به ازای هر مگاوات در حضور نیروگاه بادی ۹۱
جدول ۶ – ۲ نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی سناریو اول با روش هزینه/منفعت ۹۲
جدول ۶ – ۳ برنامه‌ریزی مشارکت نیروگاه‌ها در تأمین همزمان انرژی و رزرو برای VOLL = 5000 دلار به ازای هر مگاوات در حضور نیروگاه بادی ۹۲
جدول ۶ – ۴ نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی سناریو دوم با روش هزینه/منفعت..... ۹۳
جدول ۶ – ۵ برنامه‌ریزی مشارکت نیروگاه‌ها در تأمین همزمان انرژی و رزرو برای VOLL = 7000 دلار به ازای هر مگاوات در حضور نیروگاه بادی ۹۳
جدول ۶ – ۶ نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی سناریو دوم با روش هزینه/منفعت..... ۹۴
جدول ۶ – ۷ نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی سه سناریو با روش هزینه/منفعت ۹۴
جدول ۶ – ۸ نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی سه سناریو با روش هزینه/منفعت برای عدم قطعیت در بار و توان تولیدی مزرعه بادی..... ۹۵
جدول ۶ – ۹ نتایج کلی به دست آمده از شبیه‌سازی سه سناریو با روش هزینه/منفعت برای عدم قطعیت در بار و توان تولیدی مزرعه بادی..... ۹۵
جدول ۶ – ۱۰ برنامه‌ریزی مشارکت نیروگاه‌ها در تأمین همزمان انرژی و رزرو برای VOLL = 3000 دلار به ازای هر مگاوات با روش هزینه/منفعت ۹۶
جدول ۶ – ۱۱ برنامه‌ریزی مشارکت نیروگاه‌ها در تأمین همزمان انرژی و رزرو برای VOLL = 5000 دلار به ازای هر مگاوات با روش هزینه/منفعت ۹۷

جدول ۶ – ۱۲ برنامه‌ریزی مشارکت نیروگاه‌ها در تأمین همزمان انرژی و رزرو برای VOLL = 7000 دلار به ازای هر مگاوات با روش هزینه/منفعت ۹۸

جدول ۶ – ۱۳ نتایج برنامه‌ریزی همزمان انرژی و رزرو بدون برنامه پاسخگویی بار با روش هزینه/منفعت ۹۹

جدول ۶ – ۱۴ نتایج برنامه‌ریزی همزمان انرژی و رزرو با برنامه پاسخگویی بار با روش هزینه/منفعت ۱۰۰

جدول ۶ – ۱۵ نتایج برنامه‌ریزی همزمان انرژی و رزرو با برنامه پاسخگویی بار نسبت به تغییرات الستیسیته با روش هزینه/منفعت ۱۰۰

جدول ۶ – ۱۶ نتایج برنامه‌ریزی همزمان انرژی و رزرو با برنامه پاسخگویی بار نسبت به تغییرات قیمت رزرو با روش هزینه/منفعت ۱–۱

جدول ۶ – ۱۷ برنامه‌ریزی مشارکت نیروگاه‌ها در تأمین همزمان انرژی و رزرو با روش سلامت عمومی ۱۰۲

جدول ۶ – ۱۸ نتایج برنامه‌ریزی مشارکت واحدهای تولیدی با روش سلامت عمومی ۱۰۳

جدول ۶ – ۱۹ برنامه‌ریزی مشارکت واحدهای تولیدی برای سه سناریو با روش VaR ۱۰۸

جدول ۶ – ۲۰ نتایج کلی شبیه‌سازی روش پیشنهادی ۱۱۱

جدول ۶ – ۲۱ برنامه‌ریزی همزمان تولید انرژی و رزرو برای ۲۴ ساعت با روش VaR ۱۱۱

علائم اختصاری

$CO(D)_j$	هزینه راه‌اندازی و خاموش کردن واحد j ($/MW)
NG	تعداد واحدها
NC_I	تعداد حالات خروج تک واحدی
NC_{II}	تعداد حالات خروج دو واحدی
NI_i	تعداد واحدهای مشارکت‌کننده در پیش آمد i
NT	تعداد ساعات مورد مطالعه (Hour)
$OC_{(j)}$	تابع هزینه سوخت واحد j ($/MW)
$PG_{(t,j)}$	انرژی تولیدی توسط واحد j (MW)
$\underline{PG_j}$	کمینه تولید توان واحد j (MW)
$\overline{PG_j}$	بیشینه تولید توان واحد j (MW)
$RC_{(t,j)}$	هزینه تأمین رزرو چرخان توسط واحد j ($/MW)
RR_j	سرعت افزایشی تولید رزرو (MW/min)
$SR_{(t,j)}$	رزرو اختصاص‌یافته به واحد j
T	زمان تولید (min)
$U_{(t,j)}$	وضعیت مشارکت واحد j در زمان t
$EENS^t$	مجموع عدم تأمین انرژی مورد انتظار در زمان t (MW)
$EENS_I^t$	عدم تأمین انرژی مورد انتظار برای خروج تک واحدی در زمان t (MW)
$EENS_{II}^t$	عدم تأمین انرژی مورد انتظار برای خروج دو واحدی در زمان t (MW)
$PD_{DR(t)}$	بار مصرفی مورد نیاز بعد از اجرای برنامه در زمان t (MW)
$VOLL$	ارزش بار از دست داده ($/MW)
$PD_{(t)}$	بار مصرفی مورد نیاز در زمان t (MW)
$LDR_{(t)}$	میزان بار قطع‌شده در زمان t (MW)
$PR_{(j,t)}$	قیمت هزینه رزرو برای نیروگاه j در زمان t (MW)
$\theta_{(j)}$	درصد هزینه افزایشی نیروگاه j
$OC^-_{(j,t)}$	هزینه تولید برای بار کمتر از تولید فعلی در واحد j ($)

$PG^{-}_{(j,t)}$	توان کمتر از تولید فعلی در واحد j (MW)
$\rho_{(t)}$	قیمت برق در زمان t ($)
$E_{(t)}$	الستیسیته در زمان t
CAP_f	مجموع ظرفیت تولید و رزرو در حالت خروج تک واحدی (MW)
CAP_{fk}	مجموع ظرفیت تولید و رزرو در حالت خروج دو واحدی (MW)
Pb^i_f	احتمال پیش آمد i در حالت خروج تک واحدی
Pb^i_{fk}	احتمال پیش آمد i در حالت خروج دو واحدی
λ_j	نرخ خطای واحد j
P_H	احتمال حالت سلامت
P_M	احتمال حالت حاشیه‌ای
P_R	احتمال حالت ریسک
$\lambda_{k,3}$	عدم تقارن متغیرهای تصادفی ورودی
τ	زمان قطع بار قطع‌شده (min)
V_{CO}	حد سرعت بالا (m/s)
V_{CI}	حد سرعت پایین (m/s)
V_r	مقدار نامی سرعت باد (m/s)
X	بردار متغیرهای تصادفی ورودی مسئله UC
Y	بردار متغیرهای تصادفی خروجی مسئله UC
i	شاخص برای وقوع پیش آمد
j	شاخص برای واحد
t	شاخص برای زمان
a_j ، b_j و c_j	: ضرائب هزینه سوخت واحد jام
n	تعداد متغیرهای تصادفی ورودی مسئله UC

فصل اول

مقدمه